大豆黄酮、芒柄花素及其组合对奶牛产奶性能、血浆和乳中激素含量的影响

李　琮[1]　陈俊宏[1]　刘亚伟[1]　谭世新[2]　杨开伦[1*]

（1.新疆农业大学动物科学学院，新疆肉乳用草食动物营养重点实验室，乌鲁木齐 830052；
2.新疆天山畜牧生物工程股份有限公司，昌吉 831100）

摘　要：本试验旨在研究大豆黄酮、芒柄花素及其组合对奶牛产奶性能、血浆和乳中激素含量的影响。选取健康年龄、泌乳期相近的 40 头荷斯坦奶牛，随机分为 4 组，分别为对照、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组，每组 10 头。所有奶牛饲喂全混合日粮，试验Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组在此基础上分别添加 2.50 g 大豆黄酮、35.0 g 芒柄花素、1.25 g 大豆黄酮+17.5 g 芒柄花素。进行 127 d 的饲养试验，其中预试期 7 d，正试期 120 d。结果显示：试验Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组产奶量与对照组相比差异显著（$P<0.05$），分别比对照组提高了 30.40%、27.77%、28.37%；试验组的乳脂产量均高于对照组，但差异不显著（$P>0.05$）；试验组的乳蛋白率和乳蛋白产量均高于对照组，其中试验Ⅲ组与对照组相比差异显著（$P<0.05$）；试验Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组乳糖产量显著高于对照组（$P<0.05$）；对照组乳尿素氮含量显著高于试验Ⅱ组（$P<0.05$）；试验组血浆中雌酮含量低于对照组，而试验组乳中雌酮含量高于对照组，但差异均不显著（$P>0.05$）；试验组血浆和乳中雌二醇含量均高于对照组，试验Ⅲ组与对照组差异显著（$P<0.05$）；试验组血浆和乳中孕酮含量均高于对照组，其中血浆中试验Ⅱ组与对照组差异显著（$P<0.05$），乳中试验Ⅰ、Ⅲ组与对照组差异显著（$P<0.05$）；各组间血浆中促卵泡素、促黄体素含量差异不显著（$P>0.05$）；各试验组血浆中催乳素含量均高于对照组，其中试验Ⅱ组与对照组差异显著（$P<0.05$）；试验组乳中雌马酚含量显著高于对照组（$P<0.05$）。因此，补饲大豆黄酮、芒柄花素及其组合可提高奶牛产奶量、改善乳品质，显著增加乳中雌马酚含量，同时使奶牛血浆和乳中雌二酮、孕酮含量增加。

关键词：大豆黄酮；芒柄花素；奶牛；产奶性能；激素

中图分类号：S816.7

收稿日期：2016-07-05

基金项目：新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题（2016D03012）；新疆农业大学研究生科研创新项目（XJAUGRI2015-006）

作者简介：李　琮（1990-），女，新疆乌鲁木齐人，硕士研究生，研究方向为草食动物营养代谢。E-mail: 393364446@qq.com

*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail: yangkailun2002@aliyun.com

大豆黄酮、芒柄花素是芳香环的非甾体酚类化合物，具有多样的天然生物活性，其结构和功能类似于哺乳动物的雌二醇及其代谢产物[1]，也可与雌激素受体选择性结合，起到雌激素样或抗雌激素活性作用[2]。研究表明,给奶牛饲喂大豆黄酮、芒柄花素后可通过刺激奶牛乳腺细胞的发育[3],提高产奶量[4]。同时大豆黄酮、芒柄花素可在动物胃肠道细菌的作用下产生雌马酚[5]。雌马酚具有促进动物生长、生殖系统的发育、降低女性有关雌激素失调引起的乳腺癌和男性前列腺癌的风险、预防心血管疾病、缓解更年期症状、预防骨质疏松等作用[6]，又由于雌马酚在体内能够稳定存在并且可以分泌到母畜乳汁中，因此生产含有具有雌马酚的乳产品将具有较好的经济价值。郝振荣等[7]使用分别含有 10、20、30 mg/kg 大豆黄酮的饲粮饲喂中国荷斯坦奶牛，产奶量分别提高了 7.29%、12.66%、10.13%。Höjer 等[8]将含有芒柄花素的红三叶草饲喂给泌乳期奶牛后，乳中雌马酚含量显著增加。前人的研究已经证实，大豆黄酮、芒柄花素可提高奶牛的产奶量，增加乳中雌马酚含量，而饲喂大豆黄酮、芒柄花素后对奶牛血液及乳中繁殖相关的激素有何影响尚不明确。因此，本研究以泌乳期荷斯坦奶牛为研究对象，探究大豆黄酮、芒柄花素及其组合对高奶牛产奶性能的影响，以期进一步证实其提高乳中雌马酚含量的作用，同时研究大豆黄酮、芒柄花素及其组合是否会影响奶牛血液和乳中激素含量，为生产含有雌马酚的牛奶提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验时间与地点

试验于2015年6月—2015年11月在新疆天山畜牧生物工程股份有限公司进行。

1.2　试验动物及试验设计

选取健康、年龄及泌乳期相近的 40 头荷斯坦奶牛，随机分为 4 组，分别为对照组和试验Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组，每组 10 头。对照组和试验组均饲喂全混合日粮（TMR），试验组大豆黄酮、芒柄花素的饲喂量参考郝振荣等[7]和 Mustonen 等[9]的研究结果，试验Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组分别添加 2.50 g 大豆黄酮（购自郑州赛诺康化工产品有限公司，纯度 99%）、35.0 g 芒柄花素（购自陕西绿清生物工程有限公司，纯度 99%）、1.25 g 大豆黄酮+17.5 g 芒柄花素。进行 127 d 的饲养试验，其中预试期 7 d，正试期 120 d。分别于正试期的第 1、30、60、90、120 天记录产奶量，采集乳及血浆样品。预试期注意观察奶牛健康状况、乳房炎发病及对添加物的采食情况。

1.3 饲养管理

对照组与试验组均处于同一环境条件下，结合奶牛采食习惯，每天 10：00 和 17：00 饲喂 TMR，添加大豆黄酮、芒柄花素时将 2 者与少量 TMR 均匀混合后进行单槽饲喂，试验期间奶牛可自由饮水，每天定时清粪，保持圈舍清洁，每天挤奶 3 次。饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　TMR 组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the TMR (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米青贮 Corn silage	51.20
苜蓿干草 Alfalfa hay	16.00
番茄皮 Tomato skin	6.40
豆粕 Soybean meal	10.03
石粉 Limestone	1.05
棉籽粕 Cottonseed meal	6.51
玉米胚芽粕 Corn gluten meal	7.05
预混料 Premix[1)]	0.35
食盐 NaCl	0.38
碳酸氢钙 $Ca(HCO_3)_2$	0.34
碳酸氢钾 $KHCO_3$	0.29
碳酸氢钠 $NaHCO_3$	0.30
氧化镁 MgO	0.10
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
产奶净能 NE_L/（MJ/kg）	7.50
粗脂肪 EE	3.41
粗蛋白质 CP	15.43
酸性洗涤纤维 ADF	28.97
中性洗涤纤维 NDF	39.82
钙 Ca	0.58
磷 P	0.38
镁 Mg	0.20
钾 K	0.90

[1)] 每千克预混料含有 One kg of premix contained the following：Cu 3 230 mg，Zn 5 950 mg，Mn 4 850，I 120 mg，Se 150 mg，Co 90 mg，VA 804 800 IU，VD_3 188 800 IU，VE 4 600 IU，烟酸 Nicotinic acid 800 mg。

[2)] 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.4 样品的采集

在正试期第 1、30、60、90、120 天采集乳样，根据奶牛泌乳规律，在挤奶时进行乳样采集，分别在 04:00、11:00、17:00 进行机械挤奶，将 3 次采集样品进行混合，取 150 mL，装入干净的塑料瓶中。

在正试期第 1、30、60、90、120 天通过颈静脉采集血液，每头牛采血 15 mL，分装于 5 mL 的肝素钠抗凝管中，将所有血样在离心机中 3 500 r/min 离心 15 min，收集血浆，分装至 2 mL Eppendorf 管中（每管 1.5 mL），-20 ℃保存待测。

1.5　样品的测定

将采集的乳样混匀后立即使用 MilkoScan FT 120 乳成分分析仪[丹麦福斯集团（中国）有限公司]进行乳成分测定。

乳中雌酮（estrone,E）、雌二醇-17β（estrogen-17β,E_2-17β）、雌三醇（estriol,E_3）、孕酮（progesterone,P）含量，血浆中雌酮、雌二醇-17β、雌三醇、促卵泡素（follicle stimulating hormone,FSH）、促黄体素（luteinizing hormone,LH）、孕酮、催乳素（prolactin,PRL）含量均送至北京华英生物技术研究所进行测定。

参考 Hoikkala 等[10]和李岩等[11]的方法，利用高效液相色谱法，测定乳中雌马酚（equol,Eq）含量。

1.6　数据处理与分析

试验数据用 Excel 进行整理，使用 SAS 8.0 中 Mixed 混合模型统计，固定效应有组别、时间及二者之间的交互作用。方差结构采用 CS，数据为最小二乘平均值，显著性判断标准为 $P<0.05$，采用 Lsmeans 方法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　大豆黄酮、芒柄花素及其组合对奶牛产奶性能的影响

大豆黄酮、芒柄花素及其组合对奶牛产奶性能的影响见表 2。大豆黄酮、芒柄花素及其组合可提高奶牛产奶量，试验I、II、III组与对照组相比差异显著（$P<0.05$），分别比对照组提高了 30.40%、27.77%、28.37%；试验I、II、III组的乳脂率均低于对照组，其中I与对照组差异显著（$P<0.05$），试验而试验I、II、III组的乳脂产量均高于对照组，但组间差异不显著（$P>0.05$）；试验I、II、III组的乳蛋白率和乳蛋白产量均高于对照组，其中试验III组与对照组相比差异显著（$P<0.05$）；各试验组乳糖率与对照组相比差异不显著（$P>0.05$），而试验I、

II、III组乳糖产量均显著高于对照组（*P*<0.05）；对照组、试验III组乳尿素氮含量显著高于试验II组（*P*<0.05），对照组和试验I、III组之间差异不显著（*P*>0.05）。

表 2　大豆黄酮、芒柄花素及其组合对奶牛产奶性能的影响

Table 2　Effects of daidzein, formononetin and their combination on milk performance of dairy cows　（*n*=10）

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	对照 Control	I	II	III		组别 Grouping	时间 Time	组别×时间 Grouping×time
产奶量 Milk yield/(kg/d)	25.57^{b}	31.40^{a}	28.77^{a}	29.37^{a}	0.927	<0.000 1	0.014 5	0.989 4
乳脂率 Milk fat percentage/%	5.00^{a}	4.39^{b}	4.60^{ab}	4.84^{ab}	0.203	0.151 3	0.131 2	0.683 0
乳脂产量 Milk fat yield/(g/d)	1 256.30	1 364.28	1 327.28	1 414.14	69.812	0.445 2	0.597 7	0.982 0
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.24^{b}	3.24^{b}	3.28^{ab}	3.44^{a}	0.050	0.020 9	<0.000 1	0.998 4
乳蛋白产量 Milk protein yield/(g/d)	872.83^{b}	1 008.92^{a}	944.75^{ab}	1 005.10^{a}	30.581	0.004 2	0.171 3	0.984 6
乳糖率 Lactose percentage/%	4.95	4.97	4.93	4.93	0.039	0.905 4	0.819 2	0.773 5
乳糖产量 Lactose yield/(g/d)	1 265.27^{b}	1 547.94^{a}	1 435.38^{a}	1 455.80^{a}	43.403	<0.000 1	0.065 7	0.969 3
乳尿素氮 Milk urea nitrogen/(mg/dL)	15.66^{a}	15.27^{ab}	14.66^{b}	16.09^{a}	0.392	0.091 2	0.992 0	0.702 8

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（*P*＞0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*＜0.05），下表同。

In the same column, values with no letters or the same letter superscripts mean no significant difference　（*P*＞0.05）, while with different small letter superscripts mean significant difference（*P*＜0.05）. The same as below.

2.2　大豆黄酮、芒柄花素及其组合对血浆和乳中激素含量的影响

大豆黄酮、芒柄花素及其组合对血浆和乳中激素含量的影响见表 3。试验I、II、III组血浆中雌酮含量低于对照组，而试验I、II、III组乳中雌酮含量高于对照组，差异均不显著（*P*>0.05）；试验I、II、III组血浆和乳中雌二醇-17β 含量均高于对照组，其中试验III组与对照组相比差异显著（*P*<0.05）；试验I、II、III组血浆和乳中雌三醇含量均高于对照组，但差异不显著（*P*>0.05）；各试验组血浆和乳中孕酮含量均高于对照组，其中试验II组血浆中孕酮含量显著高于对照组（*P*<0.05），试验I、III组乳中孕酮含量显著高于对照组（*P*<0.05）；各组间血浆中促卵泡素、促黄体素含量差异不显著（*P*>0.05）；各试验组血浆中催乳素含量高于对照组，试验II组与对照组差异显著（*P*<0.05）；试验I、II、III组乳中雌马酚含量显著高于对照组（*P*<0.05）。

表 3　大豆黄酮、芒柄花素及其组合对血浆和乳中激素含量的影响

Table 3　Effects of daidzein, formononetin and their combination on plasma and milk hormone contents of dairy cows　（*n*=10）

项目 Items	组别 Groups	SEM	*P* 值 *P*-value

		对照 Control	I	II	III		组别 Grouping	时间 Time	组别×时间 Grouping×time
血浆 Plasma	雌酮 E/(pmol/L)	160.66	157.89	159.25	153.03	6.053	0.840 2	0.007 6	0.823 9
	雌二醇 E_2-17β/(pg/mL)	13.51^{b}	14.37^{ab}	16.47^{a}	16.34^{a}	0.924	0.052 7	0.084 0	0.808 9
	雌三醇 E_3/(ng/mL)	7.53	7.80	7.83	7.92	0.222	0.608 3	<0.000 1	0.540 4
	孕酮 P/(ng/mL)	1.09^{b}	1.21^{ab}	1.32^{a}	1.28^{ab}	0.084	0.200 4	0.010 7	0.088 3
	促卵泡素 FSH/(mIU/mL)	6.24	6.62	6.26	6.14	0.225	0.494 9	0.859 0	0.531 7
	促黄体素 LH/(mIU/mL)	3.75	4.00	3.61	3.84	0.240	0.706 3	0.522 5	0.097 1
	催乳素 PRL/(mIU/mL)	240.97^{b}	250.75^{ab}	253.85^{a}	246.85^{ab}	3.642	0.062 9	<0.000 1	0.563 1
乳 Milk	雌酮 E/(pmol/L)	58.87	62.82	63.41	65.34	2.759	0.401 7	0.007 0	0.997 8
	雌二醇 E_2-17β/(pg/mL)	5.49^{c}	7.01^{b}	6.50^{bc}	7.86^{a}	0.459	0.004 3	0.187 8	0.087 3
	雌三醇 E_3/(ng/mL)	0.10	0.13	0.11	0.15	0.016	0.319 3	0.024 9	0.200 8
	孕酮 P/(ng/mL)	8.32^{b}	9.38^{a}	9.81^{ab}	9.96^{a}	0.454	0.033 2	<0.000 1	0.003 1
	雌马酚 Equol/(μg/L)	<0.10^{c}	166.91^{b}	517.99^{a}	402.59^{a}	52.274	<0.000 1	0.516 8	0.527 2

3 讨 论

3.1 大豆黄酮、芒柄花素及其组合对奶牛产奶性能的影响

泌乳奶牛的产奶量是评价经济效益的重要指标，其与遗传水平、营养水平和生理状态有关，这些因素会直接影响泌乳奶牛的内分泌，最终影响奶牛的产奶量。一些研究表明,低剂量的植物雌激素会增加母畜的产奶量。刘德义等[12]选取 24 头荷斯坦奶牛，分别饲喂 2.8、3.3 g/(d·头)大豆黄酮，日产奶量分别提高 11.8%、3.4%。杨建英等[13]给荷斯坦奶牛添加 1 g/(d·头)的大豆黄酮，能够提高泌乳中期奶牛的产奶量。Lundh[14]研究表明，奶牛饲粮中添加大豆黄酮，能够增加日产奶量和整个泌乳期产奶量。卢志勇等[15]将不同梯度（10、100 和 1 000 mg/L）的大豆黄酮与奶牛乳腺上皮细胞共培养 72 h 后，奶牛乳腺上皮细胞分泌的 β-酪蛋白、乳糖和甘油三酯含量得到提高。

在本试验中，各试验组产奶量均高于对照组，表明大豆黄酮、芒柄花素及其组合可显著提高奶牛产奶量，与前人的研究结果一致，可能是因为大豆黄酮、芒柄花素能够产生弱雌激素作用，使血液中催乳素含量上升，作用于乳腺组织后，增加了乳汁分泌[16]。饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合后牛奶中乳脂率、乳糖率有所下降，这可能与奶牛的产奶量提高有关。而饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合后牛奶中乳蛋白率、乳蛋白产量增加。这可能存在 2 个方面的原因：其一，由于大豆黄酮和芒柄花素进入奶牛体内后使血液中催乳素含量增加，催乳素与其受体结合后，引起核蛋白体 RNA 升高，使酪蛋白 mRNA 翻译转录速度增加，从而提高了乳汁中蛋白含量[17]；其二，大豆黄酮和芒柄花素在机体内代谢产生的类雌激素物

质可调节机体氮代谢水平、减少尿素氮的产生，并增加氮的保留，即促进蛋白质的合成，降低蛋白质的分解，提高饲粮的转化效率，最终导致乳汁中蛋白含量升高[18]。

乳尿素氮是奶牛对饲粮中蛋白质利用率、饲粮中蛋白质与能量平衡的重要评价指标[19]。Hwang 等[20]认为当乳尿素氮在 12~19 mg/dL、乳蛋白率≥3%时饲粮中粗蛋白质、能量较为平衡。在本试验中，各组乳尿素氮含量在 14.66~16.09 mg/dL、乳蛋白率在 3.24%~3.44%，表明饲喂的饲粮中蛋白质、能量平衡。饲喂大豆黄酮、芒柄花素后，乳尿素氮含量有所下降，表明大豆黄酮、芒柄花素可能提高了机体对饲粮中粗蛋白质的利用，这也与乳蛋白率、乳蛋白产量增加的结果相一致。

3.2 大豆黄酮、芒柄花素及其组合对血浆和乳中激素含量的影响

乳的分泌包括泌乳的发动和泌乳的维持 2 个方面。在初情期和妊娠期，雌酮和孕酮共同促进腺泡的发育[21]，同时生长激素和催乳素起协同作用共同促进乳腺的发育[16]，使乳腺细胞数量达到一定的程度，为泌乳的发动打下基础。泌乳的维持继需要保持腺泡细胞数量，又要保持每个乳腺细胞代谢活性和排乳发射功能。激素综合性控制着泌乳过程，参与维持泌乳的激素有生长激素、催乳素、糖皮质激素、甲状腺激素、胰岛素和甲状旁腺素[21]。大豆黄酮、芒柄花素在动物体内代谢后可产生类雌激素物质，可与动物的乳腺、垂体、下丘脑胞浆雌二醇受体竞争性结合，诱发血液中催乳素、生长激素和胰岛素含量的增加[22]。刘春龙等[23]选用 15 头泌乳中期荷斯坦奶牛，饲喂 200 mg/d 大豆黄酮 60 d 后，血清中催乳素和雌二醇-17β 含量增加。杨建英等[24]选取 15 头泌乳晚期荷斯坦奶牛，添加 20 mg/kg 的大豆黄酮，血清和乳中催乳素含量分别提高 13.89%、17.53%。

在本试验中，大豆黄酮、芒柄花素及其组合可提高血浆中雌二醇-17β、孕酮、催乳素含量，与前人的研究结果相似，这是由于大豆黄酮、芒柄花素代谢产物具有类似雌激素作用，可以与雌激素受体竞争性结合，而血浆中雌激素受体数量有限，内源性雌激素无法与受体结合，游离在血浆中，导致雌二醇-17β 含量升高[25]。奶牛的泌乳过程受到了孕酮和催乳素等激素的调控，本试验中饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合后血浆中孕酮和催乳素含量增加，这也与各试验组产奶量增加相一致。在正常生理条件下，促卵泡素和促黄体素有协同作用[26]，促卵泡素可促使卵泡生长发育，促黄体素具有促使卵泡成熟排卵、诱导颗粒细胞产生芳香化酶将睾酮转化为雌二醇-17β，促使子宫发育等作用。在本试验中饲喂大豆黄酮、芒柄

花素及其组合后，奶牛血浆中促卵泡素、促黄体素含量无显著变化，可能是由于试验动物处于妊娠期，体内孕酮含量较高，抑制了促卵泡素、促黄体素的分泌。因此，给泌乳期奶牛短期饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合后提高产奶量的同时，不会极显著影响奶牛机体内与繁殖相关的激素含量，可能是由于奶牛机体内产生的过多激素可通过泌乳的方式分泌到乳汁中，保持了机体内各种激素的平衡，而长期饲喂大豆黄酮、芒柄花素对奶牛机体内激素含量的影响值得进一步研究。

哺乳动物乳汁中主要类固醇激素有雌酮、孕酮、睾酮等物质，含量的高低受到动物品种、饲粮蛋白质水平、生理状态等的影响。饲喂高动物蛋白质的饲料在增加产奶量的同时可能也会增加乳中雌激素的含量[27]。Campbell 等[28]认为奶牛妊娠后期，血浆、乳中的雌激素含量显著增加。朱河水[22]的研究表明，乳中雌二醇-17β、GH 和催乳素含量的变化与血浆中的变化相一致。Batra[29]和 Abeyawardene 等[30]发现乳中雌二醇-17β 含量与血浆中雌二醇-17β 含量相关，并且随着妊娠期的延长，乳汁中雌三醇含量会有所上升。

在本试验中，各组乳中的雌酮、雌二醇-17β、雌三醇、孕酮含量的变化与血浆中雌酮、雌二醇-17β、雌三醇、孕酮含量的变化相一致，表明乳中的雌酮、雌二醇-17β、雌三醇、孕酮含量与血浆中的含量是正相关关系。Malekinejad 等[31]报道，奶牛整个妊娠期间乳中雌酮、雌二醇-17β 平均含量均为 63 pg/mL，本试验中雌酮、雌二醇-17β 含量分别在 58.87~65.34 pg/mL、5.49~7.86 pg/mL，低于前人的报道。这可能与试验动物的品种、生理状态、遗传因素以及检测时乳样品的提取和分离方法等有关。袁丽君等[32]测定乳中孕酮含量在 10~20 ng/mL，而本试验中测定的乳中孕酮含量低于其测定结果。饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合对乳中雌三醇含量无显著影响。

大豆黄酮、芒柄花素属于异黄酮类植物雌激素，可在动物胃肠道细菌的作用下形成雌马酚[14]。Antignac 等[33]测定了普通乳中的雌马酚含量为 36 μg/L。Eeva 等[9]研究发现给奶牛饲喂富含大豆黄酮的红三叶草青贮后，乳中雌马酚平均含量在 458~643 μg/L。本试验中，饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合后乳中雌马酚含量显著增加，这一结果证实了生产富含雌马酚牛奶的可能性。因此，饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合后可使乳中雌马酚含量显著增加，并使乳中雌酮、雌二醇-17β、雌三醇、孕酮含量保持在正常范围内。

4 结　论

饲喂大豆黄酮、芒柄花素及其组合可提高奶牛产奶量、改善乳品质，显著增加乳中雌马酚含量，同时使奶牛血浆和乳中雌二醇-17β、孕酮含量增加。

参考文献：

[1] THAM D M,GARDNER C D,HASKELL W L.Potential health benefits of dietary phytoestrogens:a review of the clinical,epidemiological,and mechanistic evidence[J].The Journal of Clinical Endocrinology&Metabolism,1998,83(7):2223–2235.

[2] KRAJČOVÁ A,SCHULZOVÁ V,LOJZA J,et al.Phytoestrogens in bovine plasma and milk-LC-MS/MS analysis[J].Czech Journal of Food Science,2010,28(4):264–274.

[3] 王伟群,韩正康,陈伟华,等.芒柄花素的促乳腺发育作用及其机理探讨[J].南京农业大学学报,1993,16(增刊):19–24.

[4] 杨建英.大豆黄酮对不同泌乳期奶牛产奶量、乳成分的影响及相关作用机制的研究[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2003.

[5] MINAMIDA K,TANAKA M,ABE A,et al.Production of equol from daidzein by gram-positive rod-shaped bacterium isolated from rat intestine[J].Journal of Bioscience and Bioengineering,2006,102(3):247–250.

[6] 李燕,蒋守群,陈伟.雌马酚的产生、生物学功能及潜在应用[J].动物营养学报,2014,26(11):3236–3244.

[7] 郝振荣,朱志宁,王明,等.大豆异黄酮对奶牛泌乳后期泌乳性能、免疫功能和乳腺肥大细胞白介素-4水平的影响[J].动物营养学报,2012,22(6):1679–1686.

[8] HÖJER A,ADLER S,PURUP S,et al.Effects of feeding dairy cows different legume-grass silages on milk phytoestrogen concentration[J].Journal of Dairy Science,2012,95(8):4526-4540.

[9] MUSTONEN E A,TUORI M,SAASTAMOINEN I,et al.Equol in milk of dairy cows is derived from forage legumes such as red clover[J].The British Journal of Nutrition,2009,102(11):1552–1556.

[10] HOIKKALA A,MUSTONEN E,SAASTAMOINEN I,et al.High levels of equol in organic Skimmed Finnish cow milk[J].Molecular Nutrition & Food Research,2007,51(7):782–786.

[11] 李岩,迟玉杰,许岩,等.高效液相色谱法检测人体尿样中的雌马酚[J].营养学报,2012,34(5):488–491.

[12] 刘德义,周玉传,陆天水,等.大豆异黄酮对奶牛产奶量和乳脂率及饲料转化率的影响[J].中国畜牧杂志,2004,40(4):31–32,55.

[13] 杨建英,张勇法,王艳玲,等.大豆黄酮对奶牛产奶量和乳中常规成分的影响[J].饲料研究,2005(6):30–31.

[14] LUNDH T.Metabolism of estrogenic isoflavones in domestic animals[J].Experimental Biology and Medicine,1995,208(1):33–39.

[15] 卢志勇,梁代华,杨运玲,等.大豆异黄酮对奶牛乳腺上皮细胞泌乳性能及抗氧化能力的影响[J].饲料与畜牧,2013(2):25–28.

[16] 潘龙,卜登攀,孙鹏,等.生长激素轴的组成及其对奶牛泌乳的调控[J].中国畜牧兽医,2012,40(1):125–130.

[17] BECK N F G,TUCKER A H,OXENDER W D.Mammary arterial and venous concentrations of prolactin in lactating cows after milking or administration of thyrotropin-releasing hormone or ergocryptine[J].Endocrinology,1979,104(1):111–117.

[18] 郑元林,韩正康,陈杰,等.大豆黄酮对绵羊肝脏氮代谢及其有关激素水平的影响[J].南京农业大学学报,2001,24(3):57–60.

[19] 杨露,熊本海.奶牛乳尿素氮的研究进展[J].中国畜牧兽医,2012,39(8):112–115.

[20] HWANG S Y,LEE M J,PWS C.Monitoring nutritional status of dairy cows in Taiwan using milk protein and milk urea nitrogen[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2000,13(12):1667–1673.

[21] 孙晓静.奶牛泌乳相关激素周期性变化规律及激素对乳腺外植体中基因表达的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2012.

[22] 朱河水.大豆黄酮对奶牛泌乳和几种激素水平的影响[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2001.

[23] 刘春龙,任延铭,姜文博,等.大豆异黄酮类植物雌激素对奶牛内分泌水平的影响[J].中国兽医学报,2010,30(9):1261–1264.

[24] 杨建英,王艳玲,郭永国,等.大豆黄酮对奶牛免疫功能和血清及乳中几种激素水平的影响[J].黄牛杂志,2005,31(5):6–8.
[25] MCCARTY M F.Isoflavones made simple-genistein's agonist activity for the beta-type estrogen receptor mediates their health benefits[J].Medical Hypotheses,2006,66(6):1093–1114.
[26] 朱士恩.家畜繁殖学[M].北京:中国农业出版社,2009:45.
[27] QIN L Q,WANG P Y,KANEKO T,et al.Estrogen:one of the risk factors in milk for prostate cancer[J].Medical Hypotheses,2004,62(1):133–142.
[28] CAMPBELL P G,SKAAR T C,VEGA J R,et al.Secretion of insulin-like growth factor-I (IGF-Ⅰ) and IGF-binding proteins from bovine mammary tissue *in vitro*[J].The Journal of Endocrinology,1991,128(2):219–228.
[29] BATRA S K,ARORA R C,BACHLAUS N K,et al.Quantitative relationships between oestradiol-17β in the milk and blood of lactating buffaloes[J].The Journal of Endocrinology,1980,84(2):205–209.
[30] ABEYAWARDENE S A,HATHORN D J,GLENCROSS R G.Concentrations of oestradiol-17β and progesterone in bovine plasma and defatted milk during the post-partum anovulatory period,during oestrous cycles and following ovariectomy[J].British Veterinary Journal,1984,140(5):458–467.
[31] MALEKINEJAD H,SCHERPENISSE P,BERGWERFF A A.Naturally occurring estrogens in processed milk and in raw milk (from gestated cows)[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2006,54(26):9785–9791.
[32] 袁丽君,徐庄剑,胡瑜,等.部分牛奶中雌二醇和孕酮的含量分析[J].中国食品卫生杂志,2007,19(2):139–141.
[33] ANTIGNAC J P,CARIOU R,LE BIZEC B,et al.New data regarding phytoestrogens content in bovine milk[J].Food Chemistry,2004,87(2):275–281.

Effects of Daidzein, Formononetin and Their Combination on Milk Performance, Plasma and Milk Hormone Contents of Dairy Cows

LI Cong[1]　CHEN Junhong[1]　LIU Yawei[1]　TAN Shixin[2]　YANG Kailun[1*]

(1. *Xinjiang Key Laboratory of Herbivore Nutrition for Meat & Milk Production, College of Animal Science and Technology, Xinjiang Agricultural University*，　*Urumqi* 830052, *China*; 2. *Xinjiang Tianshan Animal Husbandry Bio-Engineering Co., Ltd.*, *Changji* 831100, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of daidzein, formononetin and their combination on milk performance, plasma and milk hormone contents of dairy cows. Forty healthy Holstein cows with the same age and lactation stage were randomly divided into 4 groups, control group, trial groups I, II and III, respectively, and each group had 10 cows. All cows were fed total mixed ration, and trial groups I, II and III were supplemented 2.50 g dainzein, 35.0 g formononetin, and 1.25 g dainzein+17.5 g formononetin, respectively. The feeding experiment lasted for 127 d comprised a 7 d adaptation period and 120 d trial period. The results showed as follows: milk yield of trial groups I, II and III were significant higher than that of control group (P<0.05), and were increased by 30.40%, 27.77% and 28.37%, respectively; milk fat yield of trial groups were higher than that of control group, but the differences were not significant (P>0.05); milk protein percentage and yield of trial groups were higher than those of control group, and trial group III was significant higher than control group (P<0.05); milk urea nitrogen content of control group was significant higher than that of trial group II (P<0.05); plasma estrone of trial groups was lower than that of control group (P>0.05), but milk estrone of trial groups was higher than that of control group, but the differences were not significant (P>0.05); estrogen-17β (E_2-17β) content in milk and plasma of trial groups were higher than that in control group, and there was significant difference between trial group Ⅲ and control group (P>0.05); progesterone content in plasma and milk of trial group was higher than that of control group, there was significant difference between trial group Ⅱ and control group in plasma (P<0.05), and there were significant differences between trial group I, III and control group in milk (P<0.05); follicle stimulating hormone (FSH) and luteinizing hormone (LH) contents in plasma were not significantly different among all groups (P>0.05); plasma prolactin (PRL) of all trial groups was higher than that of

---

*Corresponding author, professor, E-mail: yangkailun2002@aliyun.com　　（责任编辑　王智航）

control group, and there was significant difference between trial group II and control group (*P*<0.05); milk equol content of trial groups was significant higher than that of control group (*P*<0.05). Therefore, the supplementations of daidzein, formononetin and their combination can increase milk performance, improve milk quality, significantly increase milk equol content, and increase E_2-17β and progesterone contents in milk and plasma.

Key words: daidzein; formononetin; dairy cow; milk performance; hormone